

Perancangan dan Perakitan Modulator FSK 9600 Baud untuk Perangkat Transmitter *Payload* Satelit IINUSAT-01

Ahmad Muhiddin, dan Gamantyo Hendrantoro

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: gamantyo@ee.its.ac.id

Abstrak—Tren disain sistem komunikasi satelit setelah debut selama hampir setengah abad silih berganti bagaikan sebuah negara dengan 100 musim. Tren disain satelit yang sudah lama muncul namun tetap hangat diperbincangkan adalah satelit dengan ukuran mini, yaitu micro dan nano satelit. Menyusutkan ukuran juga berarti menyusutkan biaya pembuatan dan juga operasional dari sebuah satelit. Indonesia sebagai salah satu negara yang potensial untuk dapat memanfaatkan layanan komunikasi satelit tidak mau ketinggalan dalam mengembangkan teknologi ini. Melalui program *Indonesian Nano Satellite Platform Initiative for Research and Education* (INSPIRE) Indonesia mencoba mengembangkan satelit ilmiah nano yang dimulai dari proyek IINUSAT-01. Penelitian ini berfokus pada perakitan perangkat modulator *payload* komunikasi IINUSAT-01 yang memiliki kecepatan transfer data sebesar 9600 bps (*baud*) dengan tipe modulasi FSK. Perangkat modulator dirancang agar dapat memodulasi sinyal *carrier* dengan deviasi frekuensi tertentu sesuai dengan masukan sinyal *logic* informasi. Melalui proses disain analitis, perakitan dan pengujian alat, didapatkan sebuah perangkat modulator FSK 9600 *baud* berbasis IC *transceiver* ADF7021-N. Perangkat modulator ini dapat memodulasi frekuensi sinyal *carrier* pada sisi *downlink* IINUSAT-01 (436.915 MHz) dengan deviasi frekuensi ± 1.08 kHz.

Kata Kunci— *baud*, IINUSAT-01, INSPIRE, modulasi FSK

I. PENDAHULUAN

WILAYAH Indonesia yang terdiri dari kepulauan dengan selat pemisah yang cukup besar memberikan tantangan yang lebih berat dalam hal penyelenggaraan telekomunikasi yang menyeluruh. Perancangan jaringan telekomunikasi dengan menggunakan media kabel akan mengalami hambatan dengan adanya laut yang cukup luas dan tentu saja biaya yang sangat besar dalam upaya instalasi dan perawatannya.

Sistem komunikasi satelit merupakan salah satu alternatif solusi untuk menjangkau seluruh daerah Indonesia. Dengan letaknya yang sangat tinggi di atas permukaan bumi, memungkinkan satelit untuk mencakup daerah jangkauan *line-of-sight* yang sangat luas. Penggunaan satelit sebagai media telekomunikasi di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1976, diawali dengan peluncuran satelit Palapa yang kemudian beroperasi pada tahun yang sama. Komunikasi telepon dari wilayah timur Indonesia yang sebelumnya tidak terjangkau teknologi telekomunikasi, menjadi jauh lebih mudah dengan sistem komunikasi satelit domestik Palapa.

Sistem komunikasi satelit terdiri dari *space segment* dan *earth segment* yang sesuai dengan penamaannya merepresentasikan lokasi dari masing-masing segmen

tersebut. *Space segment* merupakan sistem yang terdiri dari *platform* ruang angkasa, *power generator*, *environmental component* dan sistem pengontrol orbit serta *payload* komunikasi. Perangkat modulator merupakan salah satu komponen dari *payload* komunikasi satelit [1].

Jenis modulator atau yang lebih mendasar lagi, jenis modulasi yang digunakan dalam sistem komunikasi satelit akan menentukan besar *bandwidth* dan juga besar daya yang dibutuhkan pada sisi transmitter [2]. Namun karena parameter daya pemancar, ketersediaan *bandwidth* serta frekuensi *downlink* telah didefinisikan pada satelit IINUSAT-01, maka pada tugas akhir ini ditentukan pula modulator yang akan dirakit adalah modulator FSK dengan kecepatan 9600 *baud* [3].

II. RANCANG BANGUN

A. Parameter Modulator FSK 9600 Baud

Implementasi perangkat modulator FSK 9600 *baud* diawali dengan perhitungan parameter-parameter sinyal FSK secara matematis. Sebagian nilai parameter telah didefinisikan terlebih dahulu sesuai referensi dan spesifikasi satelit nano IINUSAT-01. Parameter yang telah ditentukan sebagai spesifikasi IINUSAT-01 adalah *keying speed* dan frekuensi pusat, sementara parameter yang ditentukan pada permulaan mendisain perangkat adalah frekuensi deviasi. Adapun frekuensi *mark*, frekuensi *space*, *time bit*, indeks modulasi serta *bandwidth* FSK akan didefinisikan melalui proses perhitungan [4].

- 1) Keying speed = 9600 *baud*
- 2) Frekuensi deviasi (Δf) = 1000 Hz
- 3) Frekuensi pusat (f_c) = 436.915 MHz
- 4) Frekuensi *mark* (f_m)

$$\begin{aligned} f_m &= f_c + \Delta f \\ f_m &= 436.915 \text{ MHz} + 1000 \text{ Hz} \\ f_m &= 436.916 \text{ MHz} \end{aligned} \quad (1)$$

- 5) Frekuensi *space* (f_s)

$$\begin{aligned} f_s &= f_c - \Delta f \\ f_s &= 436.915 \text{ MHz} - 1000 \text{ Hz} \\ f_s &= 436.914 \text{ MHz} \end{aligned} \quad (2)$$

- 6) Indeks modulasi (*IM*)

$$IM = \frac{|f_m - f_s|}{\text{keying speed}} \quad (3)$$

$$IM = \frac{2000}{9600} = 0.20833$$

7) Time bit (tb)

$$tb = \frac{1}{\text{keying speed}} \quad (4)$$

$$tb = \frac{1}{9600} = 0.104 \text{ ms}$$

8) Bandwidth FSK (BW)

$$BW = f_m - f_s + \frac{2}{tb} = 2 \left[\Delta f + \frac{1}{tb} \right]$$

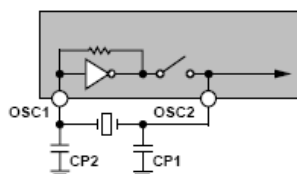
$$BW = 2 \left[1000 + \frac{1}{0.000104} \right] = 21.2 \text{ kHz} \quad (5)$$

B. Modulator Berbasis IC ADF7021-N

Untuk merealisasikan perangkat modulator FSK 9600 *baud*, parameter-parameter sinyal FSK yang telah dihitung sebelumnya akan dijadikan sebagai referensi disain. Basis perangkat ini adalah IC ADF7021-N dari *analog device* yang memiliki karakteristik performansi tinggi, hemat daya dan umum digunakan pada sistem transmisi *narrowband*. Perancangan perangkat dimulai dengan mensintesis frekuensi referensi yang akan diumpankan kepada rangkaian Phase Locked Loop (PLL) agar dapat menghasilkan frekuensi puser RF sebesar 436.915 MHz. Kemudian setelah terlebih dahulu melakukan simulasi dengan software, perangkat modulator FSK dirakit pada PCB sesuai dengan kombinasi skematik IC dengan hasil simulasi software.

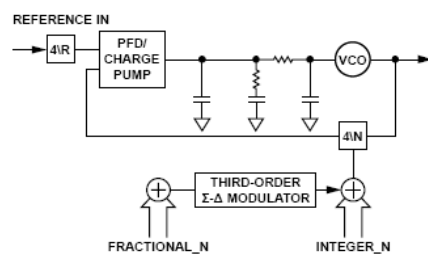
Sintesis Frekuensi

IC ADF7021-N memiliki opsi osilator on-board yang berupa kristal quartz dengan frekuensi 11.0952 MHz untuk membangkitkan gelombang sinus dengan frekuensi yang sama. Namun opsi menggunakan osilator eksternal juga tersedia, dengan syarat karakteristik osilator harus mengacu pada frekuensi eror absolut sesuai dengan regulasi yang ada. Pada penelitian ini digunakan pembangkit sinyal osilasi eksternal berupa kristal osilator 10 MHz.



Gambar 1. Rangkaian Osilator pada ADF7021-N

Sinyal osilasi yang dibangkitkan oleh osilator eksternal ini akan disintesis menjadi sinyal frekuensi RF melalui rangkaian *phase locked loop* (PLL). Rangkaian PLL pada IC ADF7021-N terdiri dari sebuah loop filter, *N-counter*, serta sebuah *voltage controlled oscillator* (VCO).



Gambar 2. Rangkaian PLL ADF7021-N

Pada gambar 2 diperlihatkan bahwa sebelum memasuki rangkaian loop filter sinyal referensi dibagi dengan sebuah R counter untuk menghasilkan phase frequency detector (PFD). Membuat nilai PFD maksimum (PFD = osilator referensi) akan mengurangi noise serta terjadinya komponen sinyal spurious. PFD digunakan untuk mengecek kesesuaian nilai frekuensi dari rangkaian feedback PLL. Sejalan dengan peran PFD, loop filter pada rangkaian PLL juga berfungsi dalam pembentukan sinyal keluaran VCO agar sesuai dengan frekuensi yang diinginkan.

Loop *bandwidth* (LBW) dari filter diusahakan agar mendekati nilai 100 kHz. Langkah ini bertujuan untuk mendapatkan keseimbangan antara nilai *in-band phase noise* dengan *out-off-band spurious rejection*. Bagian PLL selanjutnya adalah *N-counter* yang terletak pada rangkaian *feedback*. *N-counter* yang disebut juga dengan *feedback divider* terdiri dari sebuah *integer counter* 8-bit dan sebuah *sigma-delta fractional N divider*. Nilai pembagi integer minimum adalah 23. Besarnya nilai output dari rangkaian PLL dirumuskan melalui formula berikut [5]:

$$f_{out} = \frac{XTAL}{R} \times \left[Integer_N + \frac{Fractional_N}{2^{15}} \right] \quad (6)$$

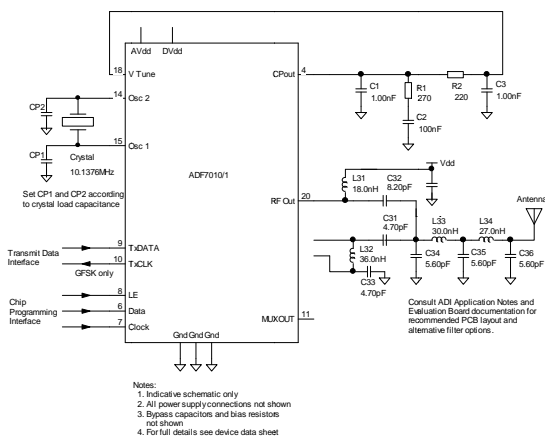
Simulasi Software dan Realisasi Modulator

Perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi perangkat modulator FSK adalah *ADIsimSRD Design Studio* yang disediakan oleh *analog device*. Simulasi dengan perangkat lunak bertujuan untuk memperkirakan komponen-komponen pasif penunjang IC ADF7021-N sebagai inti rangkaian modulator. *Step-by-step* simulasi perancangan perangkat modulator FSK 9600 *baud* menggunakan *ADIsimSRD Design Studio* adalah sebagai berikut:

- 1) Atur range frekuensi kerja perangkat dengan memasukkan batas frekuensi atas dan batas frekuensi bawah, kemudian masukkan spesifikasi frekuensi kristal osilator yang akan digunakan.
- 2) Pilih tipe chip IC dan data rate yang akan digunakan. Chip IC dari ADF7xxx memiliki 2 tipe berbeda yang dapat dipilih yaitu mode perangkat *transmitter only* atau mode perangkat *transceiver*. Keluarga IC ADF7xxx yang digunakan dalam penelitian ini mendukung mode *transceiver*. Adapun data rate yang dipilih adalah sebesar 9600 bps dengan opsi maksimum data rate yang ada sebesar 384 kbps.
- 3) Menentukan chip IC serta spesifikasi modulasi yang diinginkan. IC yang dipilih adalah ADF7021-N dengan spesifikasi modulasi FSK, frekuensi deviasi sebesar 1000 Hz dan indeks modulasi yang dikalkulasi secara otomatis sebesar 0.21.

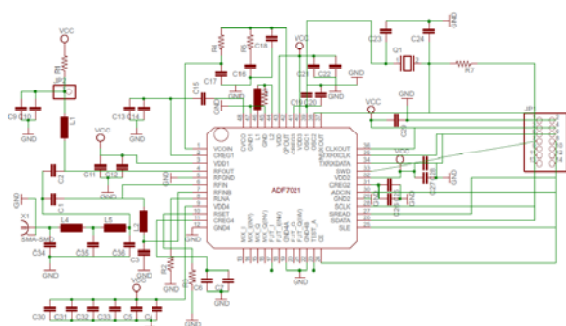
- 4) Menentukan kriteria disain secara lebih spesifik melalui *main worksheet design* untuk mendapatkan optimasi disain perangkat. Pada lembar kerja disain terdapat setidaknya 3 menu utama yang dapat diatur untuk mendisain maupun memperkirakan kinerja perangkat. Menu-menu tersebut adalah menu *design setting*, *single frequency and transient simulation*, serta *worksheet menu*.

Setelah melalui langkah-langkah pengaturan parameter perangkat di atas, software *ADIsimSRD Design Studio* akan menampilkan referensi skematik rangkaian modulator FSK. Skematik yang disimulasikan menampilkan komponen-komponen pasif pendukung yang terdiri dari rangkaian *loop filter* dan *input-output matching*.



Gambar 3. Simulasi Rangkaian

Skematik rangkaian hasil simulasi ini harus dikombinasikan dengan skematik asli rangkaian ADF7021-N yang terdapat pada *datasheet* IC untuk mendapatkan rangkaian akhir perangkat. Rangkaian inilah yang akan dirangkai pada PCB, lalu diimplementasikan menjadi perangkat modulator FSK 9600 baud.



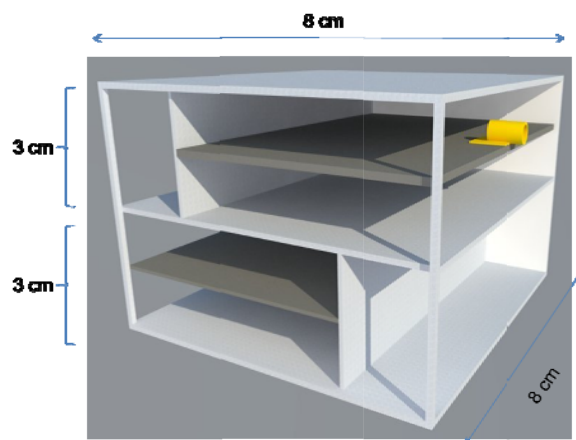
Gambar 4. Skematik Modul FSK 9600 Baud

Hasil akhir dari perancangan dan perakitan IC ADF7021-N sebagai perangkat modulator FSK 9600 baud untuk *payload* komunikasi satelit IiNUSAT-01 dapat diamati pada gambar 5.



Gambar 5. Perangkat Modulator FSK 9600 Baud

Adapun untuk estimasi dimensi subsistem *payload* komunikasi satelit IiNUSAT-01 yang terdiri dari perangkat transmitter dan penerima tanpa perangkat *processing on-board* (OBDD) ditampilkan pada gambar 10.

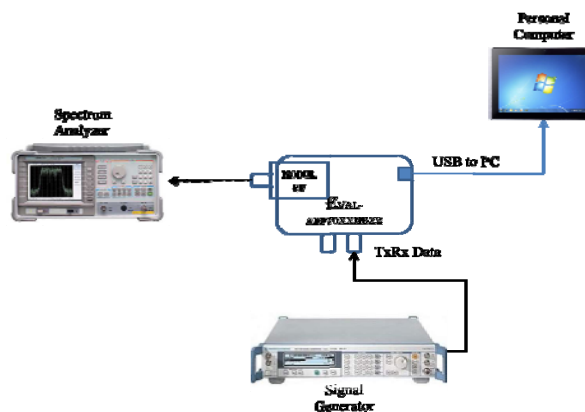


Gambar 6. Sketsa 3D Payload Komunikasi Satelit IiNUSAT-01

III. PENGUJIAN ALAT

A. Pengukuran Perangkat dengan Input Sinyal Generator

Pada pengukuran ini digunakan sebuah *spectrum analyzer Rohde & Schwartz* sebagai display sinyal output perangkat serta sebuah sinyal generator dengan merek yang sama sebagai sumber sinyal pemodulasi. Skema pengukuran yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Skema Pengukuran dengan Input Sinyal Generator

Sebuah PC digunakan untuk mengisi IC ADF7021-N sesuai dengan hasil disain analitis dan simulasi karakteristik perangkat modulator. PC ini sekaligus digunakan sebagai suplai tegangan untuk rangkaian *motherboard* dan modul RF. Sinyal generator digunakan

untuk memberikan sinyal pemodulasi yang memiliki frekuensi 4800 Hz dengan defiasi frekuensi diatur sebesar 1000 Hz.

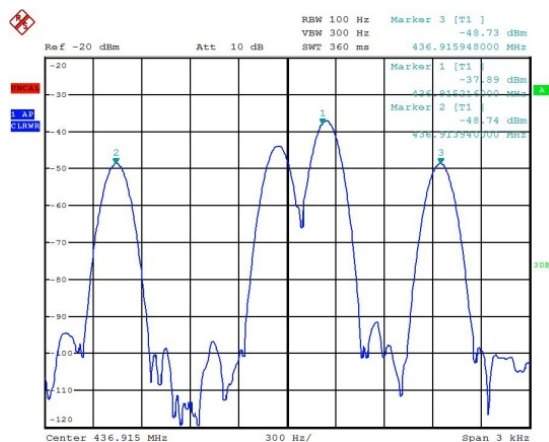
Penentuan frekuensi sinyal didasarkan oleh persamaan (10) dengan f_i adalah frekuensi sinyal pemodulasi/sinyal informasi.

$$f_i = \frac{1}{2tb} = \frac{\text{speed keying(baud)}}{2} \quad (7)$$

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui apakah fungsi dasar dari perangkat modulator sudah bekerja dengan baik atau tidak. Melalui pengukuran diketahui masing-masing sinyal *mark* dan *space* menempati frekuensi 436.9159 MHz dan 436.9139 MHz. Apabila pada hasil pengukuran diketahui juga nilai frekuensi pusat sebesar 436.9153 MHz, maka didapatkan nilai deviasi frekuensi sebesar 600 Hz untuk frekuensi *mark* dan 1360 untuk frekuensi *space*.

Penyimpangan yang cukup signifikan dari nilai deviasi frekuensi ideal sebesar 1000 Hz disebabkan oleh sinyal input yang tidak ideal pula. Sumber sinyal informasi yang digunakan berasal dari LF generator (pembangkit sinyal audio) sebagai ganti dari Step generator.

Sampel hasil pengukuran dalam bentuk grafik hardcopy *spectrum analyzer* dengan daya 13 dBm ditampilkan pada gambar 7.

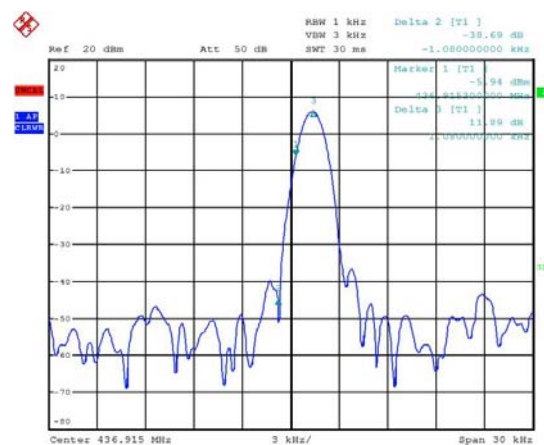


Gambar 7. Spektrum FSK dengan Input Daya 13dBm

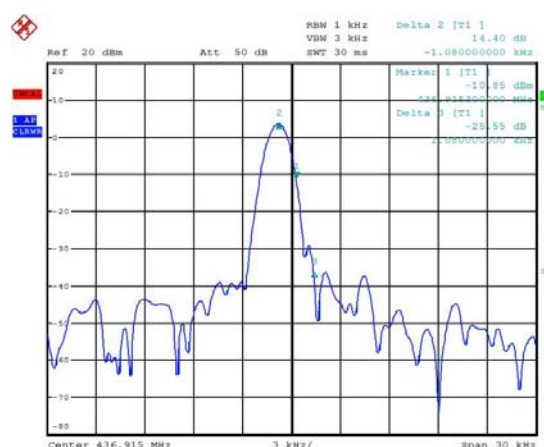
B. Pengukuran Perangkat dengan Input Data Internal

Metode pengukuran dengan input data internal IC ADF7021-N memiliki skema yang hampir sama dengan pengukuran sebelumnya. Perbedaan pengukuran terletak pada sumber modulasi yang diambil dari data internal IC berupa sinyal +ve, sinyal -ve, pola sinyal 1010 serta beberapa pola sinyal yang lain.

Sinyal input tersebut dapat diatur secara langsung melalui panel *Internal Test Data* yang ada pada *software* evaluasi ADF7021-N. Hasil pengukuran dengan menggunakan data internal +ve dan -ve secara berturut ditunjukkan pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Sinyal Mark dari Tone +ve

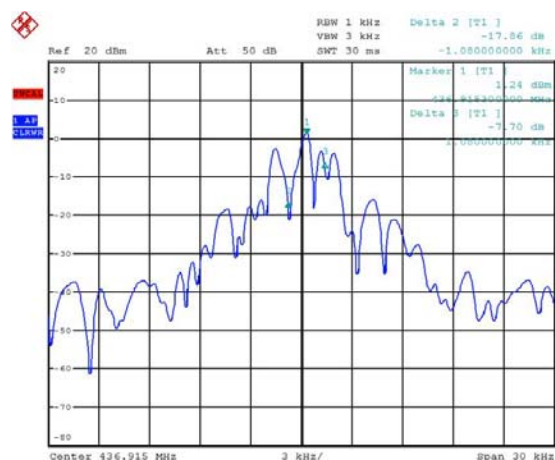


Gambar 9. Sinyal Space dari Tone -ve

Sinyal +ve merepresentasikan nilai biner 1 (frekuensi *mark*) dengan nilai deviasi frekuensi sebesar 1.08 kHz dan menempati puncak frekuensi 436.91638 MHz. Sedangkan sinyal -ve merepresentasikan nilai biner 0 (frekuensi *space*) dengan nilai deviasi frekuensi sebesar -1.08 kHz dan menempati puncak frekuensi 436.91422 MHz.

Pada pengukuran dengan data internal ini frekuensi span pada *spectrum analyzer* diperbesar menjadi 30 kHz untuk dapat melihat secara jelas penyimpangan sinyal *mark* dan *space* ketika diberikan data 1 dan 0 secara terpisah. Selanjutnya data internal ADF7021-N yang digunakan untuk mengukur kinerja perangkat adalah sinyal PN9. Sinyal ini membangkitkan 511 (2^9-1) bit acak yang diberikan secara kontinyu, sama halnya dengan pemberian sinyal melalui sumber sinyal generator.

Apabila diasumsikan informasi teks yang akan dikirimkan melalui *payload* komunikasi satelit IiNUSAT-01 kepada *ground station* adalah sinyal acak PN9, maka sinyal pembawa akan bergerak secara tidak teratur. Sinyal tidak teratur yang muncul pada *spectrum analyzer* menunjukkan perubahan terus menerus diantara frekuensi pusat, frekuensi *mark* dan *space*. Sinyal informasi yang ditumpangkan kepada sinyal pembawa berada pada daerah bandwidth sinyal termodulasi FSK. Dengan menggunakan persamaan (5) sebagai acuan perhitungan bandwidth FSK dan dengan $tb = 1/(4 \times \Delta f)$, didapatkan nilai bandwidth FSK aktual sebesar 10.8 kHz.



Gambar 10. Spektrum Sinyal FSK dengan Input Sinyal PN9

Untuk menjamin satelit IiNUSAT-01 dapat menjalankan misinya sebagai *emergency communication satellite*, diperlukan estimasi konsumsi energi dari perangkat modulator ADF7021-N. Estimasi konsumsi energi perangkat ini dapat dijabarkan melalui tabel 2 berikut :

Tabel 2. Konsumsi Energi Modulator ADF7021-N

Periode Satu Siklus	Waktu	Arus	Persentase Konsumsi Energi
Sleep	60s	100nA	0.3%
Idle/Rx Mode	50ms	21mA	60.4%
Tx	35.8ms	19.1mA	39.3%

Rata-rata konsumsi arus dalam satu siklus periode kerja perangkat ini adalah sebesar 28.9 μ A. Apabila sumber energi yang digunakan adalah sebuah baterai dengan kapasitas 1 AH, diperkirakan masa *lifetime* perangkat ini adalah sebesar 3.94 tahun.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan perakitan dan pengukuran perangkat, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa keluarga IC transceiver ADF7021-N dapat digunakan sebagai perangkat modulator FSK 9600 *baud* dan diaplikasikan pada *payload* komunikasi satelit IiNUSAT-01. Frekuensi deviasi dan indeks modulasi pada pengujian perangkat baik dengan memanfaatkan sinyal modulasi internal maupun dari sinyal generator cenderung stabil.

Nilai deviasi frekuensi yang didapatkan pada skema pengujian dengan input dari sinyal generator adalah ± 1.38 kHz. Sedangkan nilai deviasi frekuensi yang didapatkan pada skema pengujian data internal adalah ± 1.08 kHz. Nilai penyimpangan dapat ditoleransi mengingat nilai deviasi frekuensi actual yang diisikan ke dalam perangkat adalah sebesar ± 1.068 kHz.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Telecommunication Union, "Handbook on Satellite Communication 3rd Edition", USA: John Wiley & Sons (2002).
- [2] R. Ludwig, and P. Bretchko, "RF Circuit Design : Theory and Applications," New Jersey: Prentice Hall (2005).
- [3] M. K. A. Foul, "FSK Modulator," Electrical Departement, of Engineering, Islamic University of Gaza (2011).
- [4] B. Watson (2011). FSK: Signal and Demodulation, The Communication EdgeTM, pp.1 [Online]. Available: http://www.steen.se/share/text/tektext/digital-modulation/FSK_signals_demod.pdf.
- [5] Anonim (2012). ADF7021-N: High Performance Narrow-band Transceiver IC, [Online]. Available: <http://www.analog.com/en/rfif-components/rfif-transceivers/adf7021-n/products/product.html>.